动 物 学 研 究 2008，Jun. 29(3)：305—312 CN 53-1040/Q ISSN 0254-5853
Zoological Research DOI:10.3724/SP.J.1141.2008.03305

土壤温度和湿度对外来种蚯蚓 *Pontoscolex corethrurus* 产茧和幼蚓孵化的影响

张 花[1,2]，杨效东[1,*]，杜 杰[1,2]，吴艺雪[1,2]

（1. 中国科学院西双版纳热带植物园，云南 昆明 650223；2. 中国科学院研究生院，北京 100049）

摘要：通过采用主处理为土壤温度，副处理为土壤湿度的裂区区组实验设计，在室内微生态条件下控制土壤温度和湿度培养蚯蚓，探讨了 3 种土壤温、湿度对热带外来种蚯蚓 *Pontoscolex corethrurus* 成蚓产茧和蚓茧孵化的影响。研究结果表明，*P. corethrurus* 成蚓在 20—30℃土壤温度范围、25%—35%土壤湿度环境中均可持续产茧和孵化幼蚓，培养时间、土壤温湿度对蚯蚓的产茧和孵化呈现显著影响。20%土壤湿度下成蚓休眠或死亡。35%土壤湿度下呈现最大蚓茧产量和幼蚓孵化量。在较好（35%）土壤湿度下产茧数表现为高温好于低温，反之亦然；在适宜（25%—35%）土壤湿度下幼蚓孵化率随温度升高而增加，但呈现高、低温的限制作用，即 25℃土壤温度和 35%土壤湿度时出现最高幼蚓孵化率。在适宜的土壤温湿度范围内，湿度较温度对蚯蚓繁殖具有更显著的控制作用，温度的影响在一定程度上可通过土壤湿度加以调节。

关键词：幼蚓；蚓茧；土壤温度；土壤湿度；*Pontoscolex corethrurus*
中图分类号：Q145.1 **文献标识码**：A **文章编号**：0254-5853-(2008)03-0305-08

Influence of Soil Temperature and Moisture on the Cocoon Production and Hatching of the Exotic Earthworm *Pontoscolex corethrurus*

ZHANG Hua[1,2], YANG Xiao-dong[1,*], DU Jie[1,2], WU Yi-xue[1,2]

(1. *Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, the Chinese Academy of Sciences, Kuming* 650223
2. *Graduate School of Chinese Academy of Sciences, Beijing* 100049)

Abstract: Laboratory experiments with split—plot block design were conducted to examine the effects of soil temperature and moisture on cocoon production and hatching of the exotic earthworm *Pontoscolex corethrurus* under controlled conditions. Results showed that consecutive cocoon production and hatching took place at all three soil temperatures and at the two higher soil moisture conditions, used in this experiment. Cultivation time, soil moisture and temperature had significant effects on cocoon production and hatching of *P. corethrurus*. Earthworms suffered a diapause or even died when reared in soil with 20% moisture content. The greatest cocoon production and hatching rate were observed at 35% soil moisture content. When soil moisture was preferable (e.g. 35%), cocoon production was greater at higher temperatures than at lower temperatures. Hatching rate increased with soil temperature if the soil moisture content was preferable; however it was restrained if the temperature was too high or too low. The greatest hatching rate only occurred at a combination of 25°C soil temperature and 35% soil moisture content. The results also showed that soil moisture was the primary factor limiting the reproduction of *P. corethrurus*, the effects of soil temperature on earthworm reproduction was influenced by soil moisture.

Key words: Hatchling; Cocoons; Soil temperature; Soil moisture; *Pontoscolex corethrurus*

作为土壤动物的重要类群，蚯蚓在森林土壤生态系统中扮演极其重要的角色(Chapin et al, 2002)。因土地利用方式的转变导致外来种蚯蚓定居、甚至形成入侵的现象日益突出。研究显示，入侵种蚯蚓

收稿日期：2007-12-05；接受日期：2008-03-19
基金项目：中国科学院 2006 年度“西部之光”项目资助
*通讯作者（Corresponding author），E-mail: yangxd@xtbg.ac.cn
第一作者简介：张花，女，硕士研究生，主要从事土壤生态学研究

通过影响凋落物和根的分解速率、C和N的矿化速率、酶活性、微生物群落活动、土壤呼吸等，导致生态过程和植物群落组成发生变化(Alban & Berry, 1994; Burtelow et al, 1998; Groffman & Bohlen, 1999; Lachnicht et al, 2002; Lawrence et al, 2003; Li et al, 2002; Liu & Zou, 2002)。

*Pontoscolex corethrurus*为一种中等体型的热带土居型蚯蚓，随着热带土地利用方式的变化，目前已由其原居地南美洲入侵至全世界的许多热带湿润地区(González et al, 2006; Hendrix & Bohlen, 2002; Lavelle et al, 1987)。在入侵地，*P. corethrurus*能达到惊人的种群数量，如波多黎各的自然森林变为草场后，*P. corethrurus*的种群密度可从89 ind/m^2增加至831 ind/m^2，有的人工牧场在25 cm厚的土层中竟达到1000 ind/m^2(Zou & González, 1997)。

*P. corethrurus*能在定居地建立起高密度的种群，与其生物学特性、种群增长规律及生态适应性有密切关系，其中繁殖特性及其相应的环境条件是种群增长的基础。蚯蚓的产茧、蚓茧的发育、幼蚓的生长和成蚓的繁殖等生命过程对土壤温度和水分都有一定的要求(Berry & Jordan, 2001; Presley et al, 1996)。土壤温度和湿度是影响蚯蚓生理特征和生态行为的重要环境因素(Presley et al, 1996)，是调节蚯蚓种群的关键因子(Wever et al, 2001)。研究表明，不同的土壤水分和温度条件下，蚯蚓的成熟时间、产茧量、孵化能力和时间以及幼蚓的生长都有差异(Ortiz-Ceballos et al, 2005; Uvarov & Scheu, 2004)。据已有的野外初步调查，在西双版纳橡胶林已发现该种的存在，但其种群动态规律和生活史策略尚不清楚，更不知道其是否具有种群扩张的潜能。繁殖是生活史的主要阶段之一，繁殖速度和能力在一定程度上决定了种群的扩散潜力。本研究通过在人工设置的3种不同土壤温度和湿度条件培养外来种蚯蚓，探讨不同温度和湿度对*P. corethrurus*繁殖特性的影响，分析其实验种群发展变化趋势，为了解野外条件下该种种群变化规律及潜在增长能力提供科学数据。

1 材料与方法

1.1 实验材料

实验于 2006 年 3—7 月开展，在西双版纳热带植物园橡胶林选取活动性较强且具有明显环带的成熟外来种蚯蚓*P. corethrurus*作为实验材料接种饲养。

蚯蚓培养基质为橡胶林土壤和牛粪的均匀混合物：土壤取自橡胶林 0—20cm 土层，自然风干，碾细后用 6mm 孔径筛网过筛，以便仔细除去土壤中原有的蚯蚓和蚓茧。采用牛粪作为培养期蚯蚓的营养物质，其处理同土壤。土壤和牛粪的比例为干重 2000∶50（g）。培养容器为体积 4L 左右的塑料盆钵。另外，将未添加牛粪的橡胶林风干土样交中国科学院西双版纳热带植物园生物地球化学实验室分析土壤理化性质（表 1）。土壤 pH：电位法测定（土∶水=1∶2.5）；有机质（O.M）：硫酸、重铬酸钾氧化–外加热法测定；全 N：浓 H_2SO_4 消解，开氏定 N 法测定；全 Ca：$HClO_4$–HF 消解，ICP–AES 测定；全 K：$HClO_4$–HF 消解，ICP–AES 测定。

1.2 实验设计

培养实验在人工控制条件下进行。采用主处理为土壤温度（3 个水平），副处理为土壤湿度（3 个水平）的裂区区组实验设计，共 9 种处理。每处理 5 次重复。温度采用空调和取暖器控制。

温湿度梯度设置依据实验区橡胶林实际温湿度的变化范围（土壤温度年变化范围在20—30℃左右土壤湿度年变化范围约为18%—40%）（Yu，2007），并鉴于实验的可操作性，在3个相邻保温室分别建立3种水平的土壤温度：20、25和30℃，同时在每一温室中，对培养盆钵建立3种水平的土壤湿度：

表 1 西双版纳热带植物园橡胶林土壤化学性质

Tab. 1 The chemical characteristics of soil in the rubber plantation of Xishuangbanna Tropical Botanical Garden (g/kg)

土壤层 Soil depth (cm)	土壤 pH	有机质 Organic matter	全氮 Total N	全钙 Total Ca	全钾 Total K
0－10	4.57	33.16	1.81	0.26	14.00
10－20	4.57	22.25	1.41	0.18	15.42

分别为质量含水量 20%、25%、35%。实验初始，按要求称取上述土壤和牛粪放入每盆钵、用重力法调节好所设不同处理的土壤水分含量(Berry & Jordan, 2001)，及时称取和记录每一盆钵相应的重量（土壤+牛粪+水+盆钵），并在自然状态下放置 24 h，使盆钵中的土壤水分状态达到均衡。参照野外调查西双版纳橡胶林中蚯蚓的密度（180 ind/m^2 左右），并根据蚯蚓具雌雄同体、异体受精的生物特性，次日在每盆钵中接种 4 条重量外观相近的 *P. corethrurus* 成蚓（不分雌雄），称取相应盆钵的重量并补充水分至所需要求，之后选取相应土壤水分处理的盆钵随机放置于 3 个不同的温室进行培养实验。在实验过程中，根据外界天气的变化和每天 2 次土壤温湿度测定结果，随时调节空调温度以维持盆钵土壤温度恒定，并每天逐一称重盆钵，根据初值适时补充每一盆钵蒸发掉的水分，以重力法维持实验所需的恒定土壤湿度。

1.3　个体数及生物量测定

在实验期前 60 天，每 15 天将盆钵中的土全部取出，手拣和记录成蚓、蚓茧及幼蚓个体数，采用精度 0.01 g 的天平测量成蚓生物量，精度 0.0001 g 天平测量蚓茧和幼蚓生物量。之后将成蚓、蚓茧和幼蚓更换至事先准备好的相应水分含量的新鲜土壤牛粪混合物盆钵，继续培养。培养至 60 天以后，为了降低实验操作过程对幼蚓的伤害，检测周期调整为 30 天一次。

1.4　最低孵化温度和致死温度实验设置及测定

致死温度实验：致死温度实验采用盆钵培养在恒温培养箱（MGC-350HP-2，上海一恒科技有限公司）中进行，根据已有该种蚯蚓的生物学资料(Bhattacharjee & Chaudhuri, 2002)，分别设置 5 个高温（40、37.5、35、32.5 和 30℃）和 5 个低温（10、12.5、15、17.5 和 20℃）梯度，培养基质采用上述土壤和牛粪混合物，土壤湿度调整为质量含水量 30%。为尽量减少蚯蚓个体差异和其他因素（如密度）对实验带来的误差，每个 600 mL 左右盆钵中接种外来种成蚓 2 条，每一温度梯度设置 5 个重复盆钵。盆钵放置于不同温度的培养箱中，每隔 12 h 观察记录一次存活或死亡蚯蚓数，存活的蚯蚓被再次放回原来的盆钵土中，置于培养箱中培养。整个实验过程中，通过重量法维持恒定的土壤湿度。连续两次未观察到死亡蚯蚓即终止实验，实验共进行 6 天。

最低孵化温度：最低孵化温度实验在恒温培养箱里进行，从野外橡胶林收集挑取外观状态一致的非透明(产出时间较短) 外来种 *P. corethrurus* 蚓茧 100 粒，在每个放有润湿滤纸的培养皿中随机放入 5 粒。将 20 个装有蚓茧的培养皿随机分为 4 组温度处理 (12.5、15、17.5 和 20℃)，每种温度 5 次重复放置于恒温培养箱。每隔 24h 观察记录孵化出的幼蚓数，实验过程中维持滤纸润湿。整个实验直至不再观察到幼蚓孵出，并且蚓茧死亡即终止实验，实验共进行 40 天。

2　结　果

2.1　不同土壤温度、湿度下的成蚓死亡率

在 90 天的盆钵培养实验过程中，不同土壤温、湿度条件下 *P. corethrurus* 成蚓死亡率为 5%—60%，其中 20%土壤湿度的死亡率高于其他湿度条件，而温度则以 30℃较高，见表 2。

2.2　不同土壤温度、湿度下的成蚓增重状况

90 天培养过程中，成蚓生物量总体上均有所增加，但不同土壤温度和湿度条件下，成蚓生物量的增长具有明显的变化差异，见表 3。蚯蚓的增重速率与增重量表现出相似的格局，相同温度下，土壤湿度越高，成蚓增重速率越快，增重量越大。在 25% 和 35%土壤湿度条件下，蚯蚓生物量表现出低温较高温有更高的增长速率，如 35%土壤湿度、20℃土

表 2　不同处理下 *Pontoscolex corethrurus* 成蚓的死亡数及百分率（平均值±标准误）

Tab. 2　Mortality of adult *Pontoscolex corethrurus* in different treatments　（Mean±*SE*）

土壤湿度 Soil moisture(%)	土壤温度 Soil temperature (℃)		
	20	25	30
20	2.4±0.6(60±15%)	1.8±0.7(45±17%)	2.2±0.2(55±5%)
25	0	0	0.4±0.2(10±6%)
35	0	0	0.2±0.2(5±5%)

壤温度的蚯蚓增长速率平均每天高达 3.04%；但在20%土壤湿度时，高温也表现出较高的生物量增长速率。方差分析显示，土壤温度和湿度对蚯蚓生物量的增重呈现出明显的交互作用（$F_{(4,\ 34)}$=3.531，*df*=4，*P*=0.016）。

2.3 土壤温度、湿度对成蚓产茧的影响

90 天培养过程中，各控制条件下（除 20%土壤湿度）蚯蚓产茧量均呈现逐步增长趋势，但幅度各有所不同。方差分析结果显示，土壤温度、湿度以及培养时间均显著地影响 *P. corethrurus* 成蚓的累积产茧量，但土壤温度和培养时间、土壤湿度、温度和培养时间对蚯蚓累积产茧量的交互作用无显著差异（表 4）。

表 3 土壤温度和湿度对 *Pontoscolex corethrurus* 成蚓生物量增重的影响

Tab. 3 Effects of soil temperature and moisture on the growthof adult *Pontoscolex corethrurus*

(△p%.day^{-1}, percentage change in individual weight, Mean±*SE*)

土壤湿度 Soil moisture (%)	土壤温度 Soil temperature(℃)		
	20	25	30
20	0.08±0.10^{aA}	0.40±0.17^{aA}	0.42±0.14^{aA}
25	2.42±0.20^{bA}	1.70±0.28^{bB}	1.38±0.16^{bB}
35	3.05±0.19^{cA}	2.03±0.23^{bB}	2.04±0.36^{bB}

同一行内不同上标大写字母表示相同湿度、不同温度间差异显著；同一列内不同上标小写字母表示相同温度、不同湿度间差异显著 (one-way ANOVA, LSD tests; α=0.05)。

Different capital letters in the same row indicate significant difference between temperatures, and different small letters in the same column indicate significant difference between moistures(α=0.05).

.表 4 土壤温度和湿度对 *Pontoscolex corethrurus* 产茧量影响的多因素方差分析结果

Tab. 4 Three-way ANOVA on the effects of soil temperature and moisture on cocoon production of *Pontoscolex corethrurus*

	df	MS	*F*	*P*
土壤温度 Soil temperature（T）	2	675.18	8.09	<0.001
土壤湿度 Soil moisture（M）	2	17335.92	207.82	<0.001
培养时间 Incubation time（D）	5	4897.57	58.71	<0.001
T×M	4	1121.84	13.44	<0.001
T×D	10	104.25	1.24	0.261
M×D	10	1948.20	23.35	<0.001
T×M×D	20	120.17	1.44	0.105

在同一土壤温度下，两种较高土壤湿度（25%和 35%）盆钵中，*P. corethturus* 成蚓具有持续的产茧能力，实验第 15 天均已有蚓茧产出，且蚓茧的数量随时间延续而增加，其中 35%土壤湿度显著高于 25%，但 20%土壤湿度盆钵中，所有 3 种温度下均未见蚓茧产出（图 1a）。

就相同土壤湿度、不同土壤温度而言， 在高土壤湿度条件下，*P. corethturus* 产茧随温度的增高而增加；而土壤湿度降低时，产茧量随土壤温度的增高反而减少，如 35%土壤湿度，25℃和 30℃土壤温度的蚓茧数量变化无差异（*P*=0.731），却显著高于 20℃土壤温度（20℃ *vs* 25℃, *P*=0.011; 20℃*vs*30℃, *P*=0.028）；25%土壤湿度下，30℃的蚓茧数量显著少于 20℃和 25℃（30℃ *vs* 20℃, *P*=0.016; 30℃ *vs* 25℃, *P*=0.035），20℃和 25℃之间无显著差异（*P*＝0.763）。

2.4 土壤温度、湿度对幼蚓孵化的影响

90 天培养过程中，培养时间、土壤温度和湿度对蚓茧孵化为幼蚓的累计数的方差分析显示，各影响因素均对幼蚓孵化具有显著的独立及交互作用（表 5）。

图 1b 显示，本实验条件下，土壤湿度对幼蚓孵化的影响明显强于土壤温度，幼蚓孵化数量的多少更大程度上取决于土壤湿度的高低。相同土壤温度下，35%土壤湿度的幼蚓数量明显多于 25%，且幼蚓数量随时间变化增加较快，表现在从第 60 天

起，各温度下的幼蚓数量急剧增加，至 90 天时，25℃和 35%环境下幼蚓孵出数量明显高于其他条件。温度的影响在不同土壤湿度下呈现相同格局：25%和 35%土壤湿度下，25℃的幼蚓孵化数均显著高于 20℃和 30℃（25%：25℃ vs 20℃, *P*=0.005; 25℃ vs 30℃, P=0.012；35%：25℃ vs 20℃, *P*=0.001; 25℃ vs 30℃, *P*=0.005），而 20℃ 和 30℃不呈现差异（25%：*P*=0.776；35%：*P*=0.514）。同时各种条件下幼蚓孵出时间也明显不同，25℃和 30℃在培养的第 30 天即开始出现幼蚓，而 20℃明显滞后，到 60 天才有幼蚓出现。所有 20%土壤湿度盆钵无幼蚓出现（没有蚓茧）。

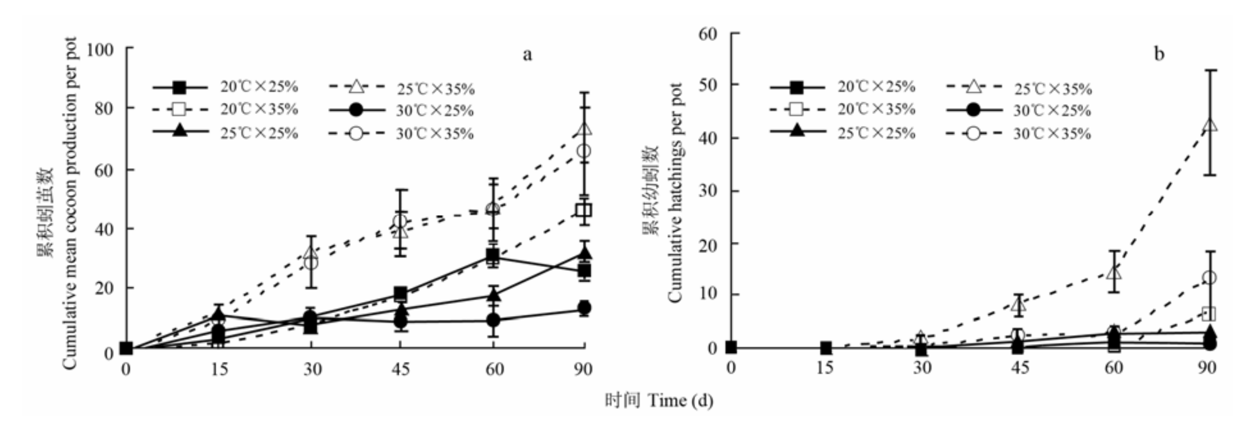


图 1　不同土壤温度和湿度条件下 *Pontoscolex corethrurus* 蚓茧（a）和幼蚓（b）数量变化曲线（平均值±标准误, *n*=5）

Fig. 1　The variation of cocoon production (a) and hatching (b) of *Pontoscolex corethrurus* in different soil temperatures and moisture conditions (Mean±*SE*, *n*=5)

表 5　土壤温度和湿度对 *Pontoscolex corethrurus* 幼蚓孵化影响的多因素方差分析结果

Tab. 5　Three-way ANOVA on the effects of soil temperature and moisture on the hatchling numbers of *Pontoscolex corethrurus*

	df	MS	*F*	*P*
土壤温度 Soil temperature（T）	2	350.82	24.45	<0.001
土壤湿度 Soil moisture（M）	2	692.24	48.25	<0.001
培养时间 Incubation time（D）	5	366.80	25.57	<0.001
T×M	4	262.34	18.28	<0.001
T×D	10	107.52	7.49	<0.001
M×D	10	299.59	20.88	<0.001
T×M×D	20	87.87	6.12	<0.001

表 6　不同土壤温度下 *Pontoscolex corethrurus* 的存活率（%，平均值±标准误，*n*=5）

Tab. 6　Survival rate of *Pontoscolex corethrurus* under different temperatures (%, Mean±*SE*, *n*=5)

培养时间 Incubation time(hours)	10℃	12.5℃	37.5℃	40℃
12	0	10	100±0	0
24	—	100±0	70±12	—
36	—	100±0	20±12	—
48	—	100±0	0	—
60	—	100±0	—	—
72	—	40±19	—	—
84	—	40±19	—	—
96	—	40±19	—	—
108	—	30±12	—	—
120	—	30±12	—	—
132	—	0	—	—
144	—	—	—	—

2.5 最低孵化温度和致死温度

在实验所设置的 4 种土壤温度中，温度等于或低于 17.5℃均无幼蚓出现，且蚓茧随孵化时间陆续呈发霉状态并死亡。20℃条件下，蚓茧在第 25 天开始孵化出幼蚓，并随时间推移数量逐渐增加。到实验截止时（第 40 天），该条件下共有 16 个蚓茧已孵化成幼蚓，孵化率平均为（64±19）%，平均所需时间为 34.6 天，40 天之后剩下的蚓茧霉烂死亡。由此可得出，该种蚯蚓蚓茧的最低孵化温度在 17.5－20℃之间。

致死温度实验共进行 6 天，极限低温 10℃和极限高温 40℃在 12h 即观察到蚯蚓全部死亡。12.5℃蚯蚓最长存活了 120h，37.5℃最长存活 48h。其余温度下蚯蚓均无死亡迹象。即本实验得出 15－35℃为 *Pontoscolex corethrurus* 成蚓的生存温度范围，低于或高于此范围均在不同时间尺度上导致蚯蚓死亡。

3 讨 论

蚯蚓的存活及繁殖能力决定了整个种群的数量变化趋势，其繁殖能力主要表现为成蚓的产茧能力和速率、蚓茧孵化率以及所需时间(Haukka, 1987; Lavelle et al, 1987)。作为重要环境因素的土壤温度和湿度是蚯蚓生存、生长、繁殖及维持和扩张种群的主要非生物环境因素 (Wever et al, 2001)。作为在热带地区的主要入侵种蚯蚓，*P. corethrurus*喜生存在湿热的气候条件下，并且极易在人为干扰较强的生境中定居或繁衍(González et al, 2006; Lavelle et al, 1987; Liu & Zou, 2002)。

我们实验数据显示：*P. corethrurus*可在土壤温度为15—35℃的范围内存活，这与Lavelle et al（1987）用墨西哥草地土壤培养*P. corethrurus*的研究结果一致。Lavelle et al（1987）的研究还认为，温度对其成蚓生长的影响呈现不同的格局，高温下成蚓生长更占优势，在30℃下达到最大增长速率，繁殖则在23－28℃之间有最大的产茧力，但幼蚓的成功孵化只能在23－27℃下发生。我们的研究结果与之有一定差异：即在2—30℃范围内，*P. corethrurus*成蚓增重、产茧和幼蚓孵化均可实现，其中25℃和30℃下的产茧数在土壤湿度较好（35%）的条件下明显优于20℃；当土壤湿度降低后，较高温度（30℃）条件下的蚯蚓产茧数反而降低（图1）。由此表明土壤温度对蚯蚓产茧的影响受土壤湿度调控，当土壤湿度较高且充分满足蚯蚓时（如35%土壤湿度），产茧量随温度增高而增加，但当土壤湿度降低并接近蚯蚓产茧所需的低限时（如25%），因高温更容易加快土壤水分散失而使环境不利于蚯蚓产茧，相反低温条件有利于蚯蚓。从幼蚓孵化看，在25%和35%土壤湿度条件下，幼蚓孵化率随温度升高而增加，但具有明显的高温限制，如最高孵化率仅出现在土壤温度25℃，且与其他温度条件差异明显。在土壤温度20℃下，蚓茧的产量较低且孵化时间较长，但成蚓则具有较快的增重速率（25%和35%土壤湿度）；相反，成蚓的增重速率随土壤温度升高相对减缓，在高温条件下受土壤湿度的调控作用明显，即增重速率随湿度的增加而增大。反映出温度较低时，成蚓可能将所获物质和能量更多用于生长，而高温条件时则更多投资于繁殖。综上，*P. corethrurus*的成蚓生长、产茧和蚓茧孵化分别有各自不同的最佳适宜温度，培养时间、土壤温、湿度对繁殖过程中蚯蚓产茧和孵化呈现明显的独立和交互影响。

土壤湿度对该蚯蚓生长、繁殖的影响同样表现出显著差异，同一温度下湿度越高越有利于生长和繁殖。在25%－35%的土壤湿度范围内，*P. corethrurus*能够持续产茧并孵化幼蚓，而在20%土壤湿度下成蚓死亡率高达60%，且不能产茧。已有研究表明，*P. corethrurus*能够耐受10%－60%土壤湿度生境(Bhattacharjee & Chaudhuri, 2002)，生长速率在27.5%－55%土壤湿度范围内随湿度的增加而增大，繁殖率在35%－55%土壤湿度范围内随湿度增加而提高，而在土壤湿度低于35%时不能产茧（蚯蚓不能达到成熟）(Lavelle et al, 1987)。与之相比，本实验所得到的*P. corethrurus*繁殖所需的土壤温湿度范围均大于已有研究结果，初步分析认为该种蚯蚓在版纳地区通过一定时间自身驯化后，适应性有所增强，因为版纳地区每年的干季（11月－次年4月）具有相对较低的土壤湿度(Fang & Sha, 2006)，野外条件下蚯蚓可通过迁移等方法逃避不利环境因素，同时也逐渐适应较低的土壤温湿度，本实验所采用样本均为野外获取，因此它们的繁殖温湿度范围较其他地区研究结果要更大，反映出*P. corethrurus*的生存对土壤湿度有较广的适应范围，但繁殖习性则受到土壤湿度一定程度的限制。

本实验就土壤温度和湿度两因素初步探讨其对外来种蚯蚓*P. corethrurus*成蚓产茧和幼蚓孵化的影响，认为在适宜的土壤温度和湿度条件下，*P.*

*corethrurus*具有产茧周期短、蚓茧孵化时间短、孵化率较高、连续繁殖等特征，这种繁殖策略使得*P. corethrurus*能在许多热带潮湿地区大量繁衍(González et al, 1999; González et al, 2006; Zou & González, 1997)。在西双版纳，各月土壤温度均在20℃以上，年最高土温为30.7℃，平均为26.5℃（Xishuangbanna Forest Ecology Station, 2002），因此温度条件较为充分地满足了外来种蚯蚓*P. corethrurus*生长和繁殖等各种生理活动的需求。但因西双版纳地处热带北缘，受季风气候影响，年降水量1557mm，并主要集中于5－10月的雨季（占全年降雨87%左右），一年中干湿季分明，全年土壤湿度在18%－40%左右，而干热季期（2－4月）呈现最低（20%左右）。在此期间，外来种蚯蚓*P. corethrurus*繁殖活动必定受到抑制，但因成蚓具有其特殊的方式来抵御干旱环境，即将身体卷曲于自身建造的土壤小巢中，活动性下降、生长处于停滞（观察资料），一旦土壤水分条件满足，*P. corethrurus*即可恢复其正常生理活动和繁殖行为。由此分析认为，西双版纳地区具备热带外来种蚯蚓*P. corethrurus*生存和繁殖的温湿度条件，但干热季较低的土壤湿度成为抑制其种群数量快速增长的重要因素，由于其个体可采用调节代谢活动来减少体内水分的散失而得以保存，因此*P. corethrurus*能在西双版纳人工种植园（如橡胶林）定居成功而仅能维持一定的种群数量。

除了温度和水分外，蚯蚓的生存和繁殖等生物学特征还受到多种生物和非生物因素的综合影响，如蚯蚓种群密度的容纳量、食物资源、微生物群落活动、土壤理化性质等(Uvarov & Scheu, 1998; Uvarov & Scheu, 2004)。要充分了解*P. corethrurus*的种群增长动态及制约因素，还需要进一步开展研究。

致谢：对中科院西双版纳热带植物园李乔顺在野外和室内研究工作给予的大力支持，杨赵、方莉娜同学在实验上的协助，张霜同学在数据处理上的帮助表示感谢。

参考文献：

Alban DH, Berry EC. 1994. Effects of earthworm invasion on morphology, carbon, and nitrogen of a forest soil [J]. *Appl Soil Ecol*, **1** (3): 243-249.

Berry EC, Jordan D. 2001. Temperature and soil moisture content effects on the growth of *Lumbricus terrestris* (Oligochaeta: Lumbricidae) under laboratory conditions [J]. *Soil Biol Biochem*, **33** (1): 133-136.

Bhattacharjee G, Chaudhuri PS. 2002. Cocoon production, morphology, hatching pattern and fecundity in seven tropical earthworm species：A laboratory-based investigation [J]. *J Biosciences*, **27** (3): 283-294.

Burtelow AE, Bohlen PJ, Groffman PM. 1998. Influence of exotic earthworm invasion on soil organic matter, microbial biomass and denitrification potential in forest soils of the northeastern United States [J]. *Appl Soil Ecol*, **9** (1-3): 197-202.

Chapin F, Matson P, Mooney H. 2002. Principles of Terrestrial Ecosystem Ecology [M]. New York: Springer, 151-175.

Fang QL, Sha LQ. 2006. Soil respiration in a tropical seasonal rain forest and rubber plantation in Xishuangbanna, Yunnan, SW China [J]. *Acta Phytoecologica Sinica*, **30** (1): 97-103. [房秋兰, 沙丽清. 2006. 西双版纳热带季节雨林与橡胶林土壤呼吸. 植物生态学报, **30** (1): 97-103.]

González G, Huang CY, Zou XM, Rodriguez C. 2006. Earthworm invasions in the tropics [J]. *Biol Invasions*, **8** (6): 1247-1256.

González G, Zou XM, Sabat A, Fetcher N. 1999. Earthworm abundance and distribution pattern in contrasting plant communities within a tropical wet forest in Puerto Rico [J]. *Caribb J Sci*, **35**: 93-100.

Groffman PM, Bohlen PJ. 1999. Soil and sediment biodiversity：Cross-system comparisons and large-scale effects [J]. *Bioscience*, **49** (2): 139-148.

Haukka JK. 1987. Growth and survival of *Eisenia fetida* (Sav.) (Oligochaeta: Lumbricidae) in relation to temperature, moisture and presence of *Enchytraeus albidus* (Henle) (Enchytraeidae) [J]. *Biol Fert Soils*, **3** (1): 99-102.

Hendrix PF, Bohlen PJ. 2002. Exotic earthworm invasions in North America: Ecological and policy implications [J]. *Bioscience*, **52** (9): 801-811.

Lachnicht SL, Hendrix PF, Zou X. 2002. Interactive effects of native and exotic earthworms on resource use and nutrient mineralization in a tropical wet forest soil of Puerto Rico [J]. *Biol Fert Soils*, **36** (1): 43-52.

Lavelle P, Barois I, Cruz I, Fragoso C, Hernandez A, Pineda A, Rangel P. 1987. Adaptive strategies of *Pontoscolex corethrurus* (Glossoscolecidae, Oligochaeta), a peregrine geophagous earthworm of the humid tropics [J]. *Biol Fert Soils*, **5** (3): 188-194.

Lawrence B, Fisk MC, Fahey TJ, Suarez ER. 2003. Influence of nonnative earthworms on mycorrhizal colonization of sugar maple (Acer saccharum) [J]. *New Phytol*, **157** (1): 145-153.

Li XY, Fisk MC, Fahey TJ, Bohlen PJ. 2002. Influence of earthworm invasion on soil microbial biomass and activity in a northern hardwood forest [J]. *Soil Biol Biochem*, **34** (12): 1929-1937.

Liu ZG, Zou XM. 2002. Exotic earthworms accelerate plant litter decomposition in a Puerto Rican pasture and a wet forest [J]. *Ecol Appl*, **12** (5): 1406-1417.

Ortiz-Ceballos AI, Fragoso C, Equihua M, Brown GG. 2005. Influence of food quality, soil moisture and the earthworm *Pontoscolex corethrurus* on growth and reproduction of the tropical earthworm *Balanteodrilus pearseii* [J]. *Pedobiologia*, **49** (1): 89-98.

Presley ML, McElroy TC, Diehl WJ. 1996. Soil moisture and temperature interact to affect growth, survivorship, fecundity, and fitness in the earthworm *Eisenia fetida* [J]. *Comparative Biochemistry and Physiology a-Physiology*, **114** (4): 319-326.

Uvarov AV, Scheu S. 1998. Factors affecting earthworm abundance in soils

[A]. In: Edwards CA. Earthworm Ecology [M]. St. Lucie Press, 37-64.

Uvarov AV, Scheu S. 2004. Effects of density and temperature regime on respiratory activity of the epigeic earthworm species *Lumbricus rubellus* and *Dendrobaena octaedra* (Lumbricidae) [J]. *Eur J Soil Biol*, **40** (3-4): 163-167.

Xishuangbanna Forest Ecology Station. 2002. The climatic characteristic in Xishuangbanna Menglun[J]. *Tropical Plant Research*, **47**: 62-65. [西双版纳热带森林生态研究组. 2002. 西双版纳勐仑地区气候特征. 热带植物研究, **47**: 62-65.]

Wever LA, Lysyk TJ, Clapperton MJ. 2001. The influence of soil moisture and temperature on the survival, aestivation, growth and development of juvenile *Aporrectodea tuberculata* (Eisen) (Lumbricidae) [J]. *Pedobiologia*, **45** (2): 121-133.

Yu GB. 2007. Effects of Earthworm on Soil Microbial Growth Activity in Tropical Forests in Xishuangbanna, Yunnan, SW China. Master thesis, Xishuangbanna Tropical Botanical Garden, CAS. [余光彬. 2007. 西双版纳热带森林蚯蚓对土壤微生物生长活性的影响. 硕士学位论文, 中科院西双版纳热带植物园.]

Zou XM, González G. 1997. Changes in earthworm density and community structure during secondary succession in abandoned tropical pastures [J]. *Soil Biol Biochem*, **29** (3-4): 627-629.